

**PENGUJIAN DAN ANALISA KENAIKAN TORSI DUA MOTOR BLDC  
TERGANDENG**



**Disusun sebagai salah satu syarat menyelesaikan Program Studi Strata I  
pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik**

**Oleh:**

**FAIZAL TEGAR NANDA SAPUTRA**

**D 400 170 029**

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA  
2020**

**HALAMAN PERSETUJUAN**

**PENGUJIAN DAN ANALISA KENAIKAN TORSI DUA MOTOR BLDC  
TERGANDENG**

**PUBLIKASI ILMIAH**

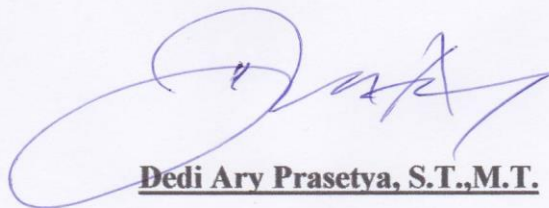
Oleh:

**FAIZAL TEGAR NANDA SAPUTRA**

**D 400 170 029**

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji oleh:

**Dosen Pembimbing**



**Dedi Ary Prasetya, S.T.,M.T.**

**NIK. 982**

**HALAMAN PENGESAHAN**

**PENGUJIAN DAN ANALISA KENAIKAN TORSI DUA MOTOR BLDC  
TERGANDENG**

**OLEH**

**FAIZAL TEGAR NANDA SAPUTRA**

**D400170029**

**Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji**

**Fakultas Teknik Elektro**

**Universitas Muhammadiyah Surakarta**

**Pada hari Kamis, 4-Peb 2020**

**dan dinyatakan telah memenuhi syarat**

**Dewan Penguji:**

**1. Dedy Ari Prasetya, ST.MEng**


**(Ketua Dewan Penguji)**

**2. Fajar Suryawan, PhD**

**(Anggota I Dewan Penguji)**

**3. Ir. Bambang Hari P, MT**

**(Anggota II Dewan Penguji)**

  
(.....)

  
(.....)

  
(.....)



**Dekan,**

**Ir. Sri Sunariono, MT., PhD**

**NIK. 628**

## **PERNYATAAN**

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam publikasi ilmiah ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila kelak terbukti ada ketidakbenaran dalam pernyataan saya di atas, maka akan saya pertanggungjawabkan sepenuhnya.

**Surakarta, 7 Desember 2020**

**Penulis**



**FAIZAL TEGAR NANDA SAPUTRA**

**D400170029**

# PENGUJIAN DAN ANALISA KENAIKAN TORSI DUA MOTOR BLDC TERGANDENG

## Abstrak

Motor Listrik merupakan perangkat pengkonversi energi listrik menjadi energi mekanik yaitu gerakan memutar, dengan memasukkan arus dan tegangan listrik akan diubah menjadi torsi dan rpm (*Revolution per minutes*). BLDC Motor (*Brushless DC Motor*) merupakan motor listrik yang memiliki prinsip kerja seperti motor induksi dengan perbedaan BLDC Motor menggunakan PWM (*Pulse Width Modulation*) sebagai pembangkit siklus kerjanya. BLDC Motor ditujukan untuk menjadi penggerak utama kendaraan listrik yang saat ini kebanyakan menggunakan motor induksi AC (*Alternating Current*). Pemilihan motor jenis ini dititikberatkan untuk mendapatkan rpm yang tinggi juga efektifitas penggunaan daya masukkan yang berupa listrik DC (*Direct Current*) dari baterai, sehingga tidak memerlukan inverter untuk mengubah kembali menjadi listrik AC. Perangkat sistem berupa mikrokontroler sebagai pengatur atau sebagai otak dalam proses dalam mesin, proses akan diteruskan pada perangkat mosfet sebagai perantara penyalur listrik antara baterai dan motor. Pengendalian motor diawali dengan sinyal VDC masukkan dari potensiometer menuju mikrokontroler, dari proses itu akan dibangkitkan sinyal PWM yang dikirimkan ke Mosfet kemudian akan mengatur listrik DC dari baterai menjadi listrik DC 3 fasa menuju BLDC Motor secara independen. Setiap motor akan mendapat pengendalian dari mosfet yang berbeda sehingga arus listrik yang mengalir tidak terlalu besar dan menjadikannya lebih aman.

Kata kunci: *Alternating Current*, BLDC Motor, *Direct Current*, Mosfet, PWM, Rpm, Torsi

## Abstract

*An electric motor is a device that converts electrical energy into mechanical energy, namely a circular motion, by entering an electric current and voltage, it will be converted into torque and rpm (Revolution per minute). BLDC Motor (Brushless DC Motor) is an electric motor that has a working principle like an induction motor with a difference. BLDC Motor uses PWM (Pulse Width Modulation) as its work cycle generator. BLDC Motor is intended to be the prime mover of electric vehicles which currently mostly use AC (Alternating Current) induction motors. The choice of this type of motor is focused on getting a high rpm as well as the effectiveness of using the input power in the form of DC electricity (Direct Current) from the battery, so it doesn't need an inverter to convert it back to AC electricity. The system device is in the form of a microcontroller as a regulator or as a brain in the process in the machine, the process will be forwarded to the mosfet device as an intermediary for electricity distribution between the battery and the motor. Control of the motor begins with a VDC signal entered from the potentiometer to the microcontroller, from that process a PWM signal will be generated which is sent to the Mosfet then it will regulate the DC electricity from the battery into 3-phase DC electricity to the BLDC Motor independently. Each motor will get control from a different mosfet so that the electric current that flows is not too large and makes it safer.*

Keywords: *Alternating Current*, BLDC Motor, *Direct Current*, Mosfet, PWM, Rpm, Torque

## 1. PENDAHULUAN

Perkembangan dunia otomotif yang saat ini terjadi perubahan dengan hadirnya kendaraan listrik yang mempunyai makna kendaraan yang menggunakan listrik untuk sumber energi penggerak pada kendaraan. (Ahmad dkk, 2018). Hingga saat ini

pengelolaan dalam perkembangan kendaraan listrik untuk menanggulangi adanya kekurangan cadangan bahan bakar minyak yang telah banyak dilaksanakan, (Nurhadi, 2018). Pengembangan tidak lepas dari peran perangkat pembakaran energi listrik menjadi energi kinetik yaitu dengan menggunakan motor listrik, terdapat dua jenis motor listrik yaitu AC (*Alternating Current*) dan DC (*Direct Current*) berdasarkan pengendalian arus masukannya. DC motor sendiri juga mempunyai dua jenis yaitu Motor DC dengan sikat (*Brushed DC Motor*) dan BLDC (*Brushless Direct Current Motor*). Salah satu yang sering digunakan pada kontes atau penelitian pengembangan mobil listrik adalah BLDC.

BLDC motor ialah jenis motor listrik sinkron tiga fasa yang mempunyai dua bagian inti yakni rotor dan stator. Rotor ialah bagian yang berputar atau bergerak pada elektro magnet yang dihasilkan listrik sedangkan stator ialah bagian yang tidak berputar atau tidak bergerak dalam kumparan tiga fasa. (Andika dkk, 2018). Motor BLDC ialah motor yang memiliki nilai efisiensi yang bagus, lebih akurat serta ketahanan yang panjang dan harga cukup mahal. Motor ini mempunyai bagian rotor yang terdiri dari magnet permanen dan bagian stator juga terdiri dari belitan untuk menghasilkan medan magnet. Dalam mengubah polaritas motor BLDC dapat dilakukan dengan elektronik menggunakan sensor *hall-effect* dan *rotary encoder*. (Azizi, 2013). Penggunaan motor jenis ini pada kendaraan listrik mempunyai kelebihan yaitu rendah perawatan karena mempunyai komponen yang sulit rusak berbeda dengan Brushed DC Motor yang mempunyai sikat untuk mengalirkan listrik dari terminal menuju komutator. BLDC mempunyai keluaran daya yang besar terlebih jika dirangkai dengan beberapa motor sejenisnya untuk menopang satu beban yang sama.

PWM ialah modulasi sinyal dengan jenis pulsa yang memiliki perbandingan antara sinyal *carrier* (pembawa) dengan sinyal modulasi sehingga mendapatkan sinyal kotak dan lebar pulsa yang berbeda. Pada lebar pulsa dapat diatur dengan siklus kerja. Siklus kerja ialah sesuatu yang dapat menunjukkan presentase periode sinyal tinggi (*high*) dan sinyal rendah (*low*). Pada presentasi siklus kerja berbanding lurus dengan tegangan rata-rata pada hasil. Sinyal PWM yang bervariasi pada lebar pulsa sesuai siklus kerja. (Akbar, Danu; Riyadi, 2018). Dalam pengendalian BLDC Motor, PWM berfungsi pada pengendalian mosfet yang menjadi gerbang antara sumber daya dan motor, dengan kata lain berfungsi sebagai pengendali besarnya frekuensi yang masuk untuk mengendalikan kecepatan BLDC Motor.

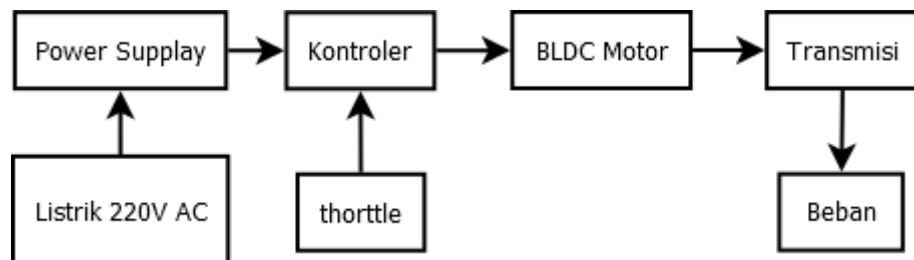
Torsi pada hukum fisika disebut dengan momen gaya atau momen, ialah penyetaraan gaya rotasi dari gaya linear. (Serway, 2003). Konsep kerja torsi pada



Archimedes dengan alat peraga tuas, pada umumnya torsi diketahui sebagai gaya rotasi. Hasil pembentukan dari gaya, percepatan, dan masa ialah torsi pada momen inersia pada percepatan sudut. Gaya yang bekerja pada tuas dikalikan dengan jarak titik beban ke titik sumbu poros disebut dengan torsi. Misalnya, gaya pada tiga benda yang bekerja sejauh dua meter dari titik tengah menghasilkan torsi yang sama dengan satu newton bekerja selama enam meter dari titik tengah. Jadi gaya dalam sebuah sudut memiliki kesesuaian pada tuas yang lurus. Pada umumnya seseorang dapat mengaktifkan torsi dalam perkalian silang. (Kanginan, 2017).

## 2. METODE

### 2.1 Perancangan diagram blok sistem Purwa Rupa Mesin Multi BLDC Motor



Gambar 1. Blok Diagram sistem Multi BLDC Motor

Perancangan Mesin Multi BLDC Motor dapat dilihat pada blok diagram pada gambar 1, Jenis BLDC Motor yang digunakan memiliki daya maksimal 720 Watt berjumlah 2 buah yang dirangkai secara paralel difungsikan sebagai purwa rupa penggerak kendaraan listrik, pengendalian sistem dengan jenis pengendalian kecepatan yang dilakukan dengan memutar *thorttle* berupa potensiometer yang kemudian mengatur besar kecilnya siklus kerja dari PWM guna mengatur listrik masukkan dari baterai menuju motor melalui ESC (Elektronik Speed Control). Catu daya dari rangkaian ini diambil dari power suplai bertegangan 12V DC, keluaran dari rangkaian mesin berupa putaran pada poros utama yang dihubungkan dengan katrol untuk menarik beban pengujian.

### 2.2 Perancangan sistem transmisi Multi BLDC Motor

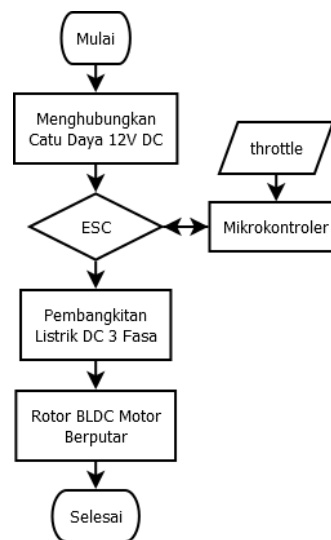


Gambar 2. Sistem transmisi dalam mesin Multi BLDC Motor

Sistem transmisi yang terdapat dalam mesin ini memiliki fungsi utama untuk menggabungkan dua putaran rotor BLDC Motor untuk memutar satu poros utama. Dalam teknik, gir yang terdapat pada poros rotor BLDC Motor itu disebut *Driver Gear* sedangkan gir yang berada di tengah-tengahnya disebut *Driven Gear*. Dengan memiliki perbandingan rasio 1:1 atau sama-sama memiliki 33 gigi, maka putaran pada *driver gear* dan *driven gear* memiliki kecepatan (rpm) yang sama.

## 2.3 Perancangan sistem kendali kecepatan Multi BLDC Motor

### 2.3.1 Diagram alir sistem kendali kecepatan Multi BLDC Motor

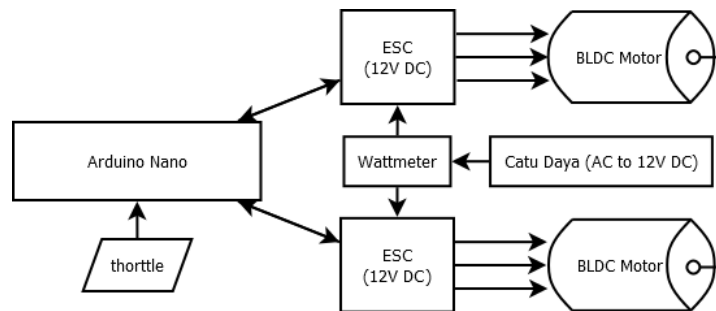


Gambar 3. Diagram Alir perancangan sistem kendali kecepatan Multi BLDC Motor

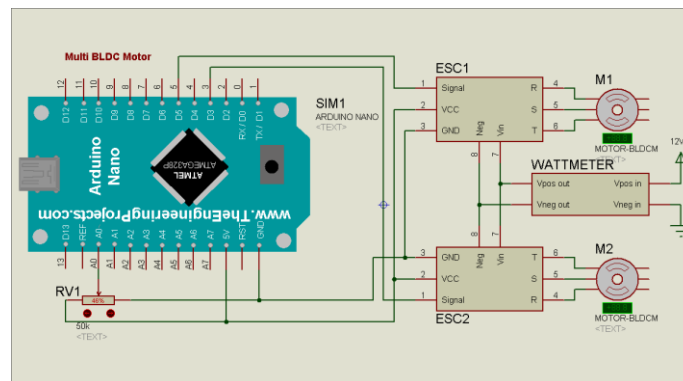
Diagram alir perancangan sistem kendali kecepatan rancangan purwa rupa mesin diawali dari penghubungan ESC (mosfet) dengan catu daya 12V DC, diantara ESC dan catu daya terdapat alat ukur berupa wattmeter untuk memonitor daya yang masuk ke dalam rangkaian mesin. ESC sendiri dikendalikan oleh mikroprosesor berupa Arduino Nano yang berfungsi membangkitkan sinyal PWM untuk men-*trigger* mosfet dalam ESC untuk mengendalikan arus listrik yang mengalir di dalamnya. Keluaran dari ESC berupa listrik 3 fasa yang langsung dibubungkan dengan motor untuk menjalankannya, poros rotor dapat berputar karena adanya perbedaan medan magnet yang bekerja di dalamnya.



### 2.3.2 Rangkaian Elektronika Purwa Rupa Mesin Multi BLDC Motor



Gambar 4. Wiring Diagram Rangkaian Elektronika Mesin



Gambar 5. Skematik Rangkaian Elektronika Mesin

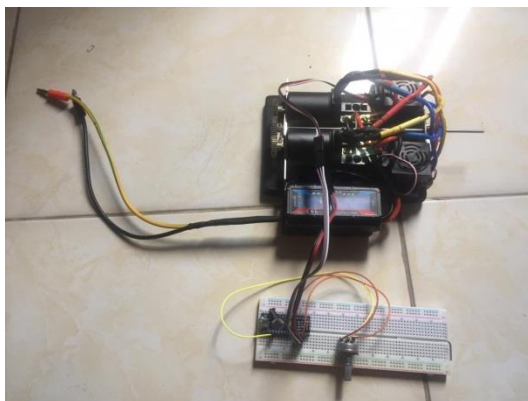
Rangkaian elektronika terdiri dari modul-modul pabrikan. Terdapat Arduino Nano yang berfungsi sebagai pembangkit pulsa PWM, pengaturan nilai besarnya siklus kerja PWM dalam Arduino dikendalikan dengan *throttle* berupa potensiometer dengan metode *analog read*. Sumber daya berasal dari ESC yang menyalurkan listrik bertegangan 6V kepada Arduino sehingga dapat langsung mengaktifkannya tanpa mengambil sumber daya langsung dari sumber listrik. Arduino mengirimkan sinyal PWM kepada ESC pada kaki “*signal*” yang digunakan untuk *men-trigger gate* mosfet pada ESC. Pengaturan di dalam modul ESC sudah langsung listrik DC tiga fasa dengan arus maksimal yang dapat mengalir sebesar 60A. Listrik dari catu daya sebelum masuk ke ESC harus melewati *wattmeter* terlebih dahulu untuk dilakukan *monitoring* daya sekaligus pengambilan data. Hasil dari proses sistem elektronika mesin adalah berputarnya rotor dalam BLDC Motor karena terdapat perbedaan medan magnet pada rotor berupa magnet permanen dengan stator yang berupa magnet sekunder kumparan.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

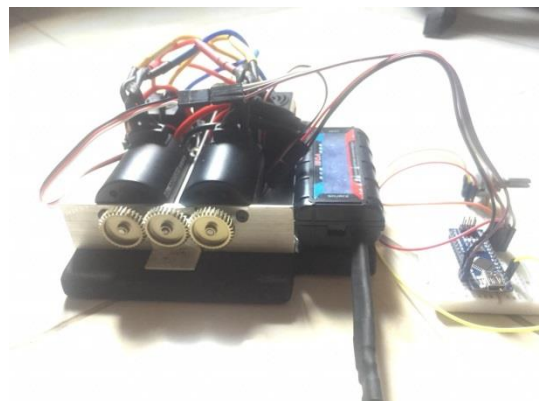
#### 3.1 Hasil dan implementasi sisem Purwa Rupa Mesin Multi BLDC Motor

Pengaplikasian sistem Purwa Rupa mesin Multi BLDC Motor ditunjukkan pada gambar 6, dapat dilihat power suplai, rangkaian kendali berupa arduino nano, rangkaian ESC yang bekerja layaknya mosfet, rangkaian mekanik berupa dua buah BLDC motor yang dirangkai paralel untuk memutar satu poros utama dengan gir yang memiliki perbandingan 1:1. Power suplai yang terhubung dengan listrik rumah (AC 220V) menyuplai rangkaian yang diawali dengan penghubung keluaran power suplai berupa listrik DC 12V ke wattmeter yang sekaligus digunakan sebagai pengukuran tegangan, arus, dan daya listrik yang masuk ke rangkaian mesin. Kemudian keluaran dari wattmeter dihubungkan dengan dua buah ESC secara paralel, difungsikan sebagai mosfet atau gerbang pengendali sekaligus pembangkitan listrik tiga fasa yang masuk ke motor BLDC. Pengendalian ESC dilakukan menggunakan Arduino nano dengan prinsip PWM, sedangkan pengaktifan Arduino Nano ini sendiri menggunakan listrik DC 6V yang didapat dari ESC. Pengaturan silkus kerja PWM dari Arduino menggunakan metode analog read dengan perangkat potensiometer.

Rangkaian mekanik mesin berupa gir pinion 33 gigi yang dirangkai paralel atau sejajar, dua gir yang ada di kanan dan kiri merupakan gir pengendali dan satu gir yang berada di antaranya merupakan gir terkendali. Gir pengendali dihubungkan langsung dengan rotor BLDC motor dan gir terkendali dihubungkan langsung dengan poros utama yang di ujung poros utama terdapat *flange coupling* untuk menghubungkan poros dengan *pulley* penarik beban berdiameter 2,5 cm yang berarti akan menarik benang penghubung beban sejauh 6,28 cm pada satu putaran.



Gambar 6. Rangkaian Purwa Rupa Mesin Multi BLDC Motor beserta Rangkaian Kendali



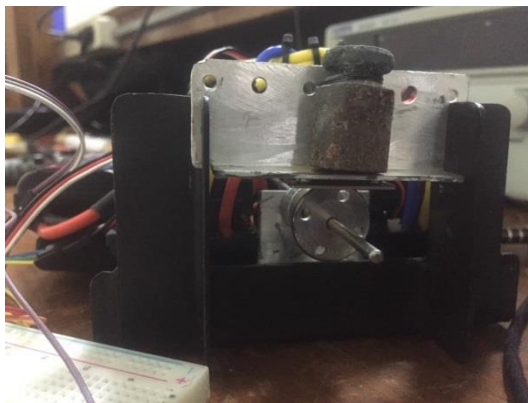
Gambar 7. Sistem Transmisi Purwa Rupa Mesin Multi BLDC Motor



Gambar 8. Perangkat penghubung rangkaian dengan beban (*flange coupling*)



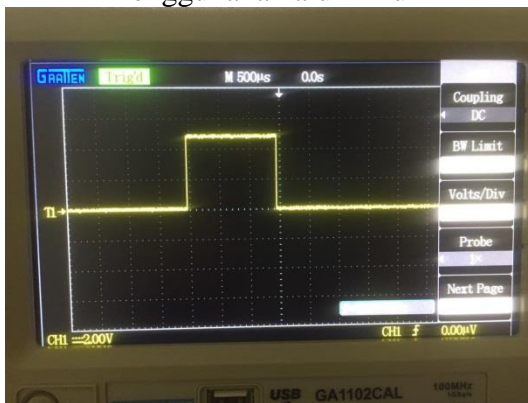
Gambar 9. Pembebanan mesin menggunakan kampas rem (*Brake pad*)



Gambar 10. Pembebanan mesin menggunakan aluminium



Gambar 11. Pemberat yang digunakan untuk pembebanan aluminium



Gambar 12. Gelombang PWM siklus kerja dari Arduino Nano



Gambar 13. Kit pengujian alat

### 3.2 Pengujian siklus kerja sistem kendali kecepatan BLDC Motor

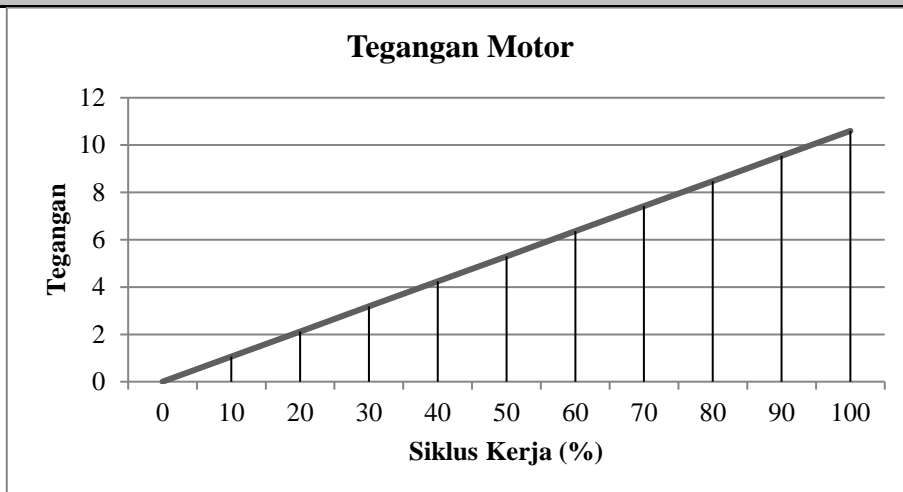
Perhitungan dalam pengujian menggunakan rumus mencari siklus kerja (*duty cycle*), semakin tinggi nilai siklus kerja yang bekerja, maka semakin tinggi pula kecepatan putar rotor dari BLDC Motor yang dikendalikan. Rumusan untuk mencarinya adalah sebagai berikut:

$$V_{motor} = \frac{T_{on}}{T_{total}} \times V_{in} \quad (i)$$

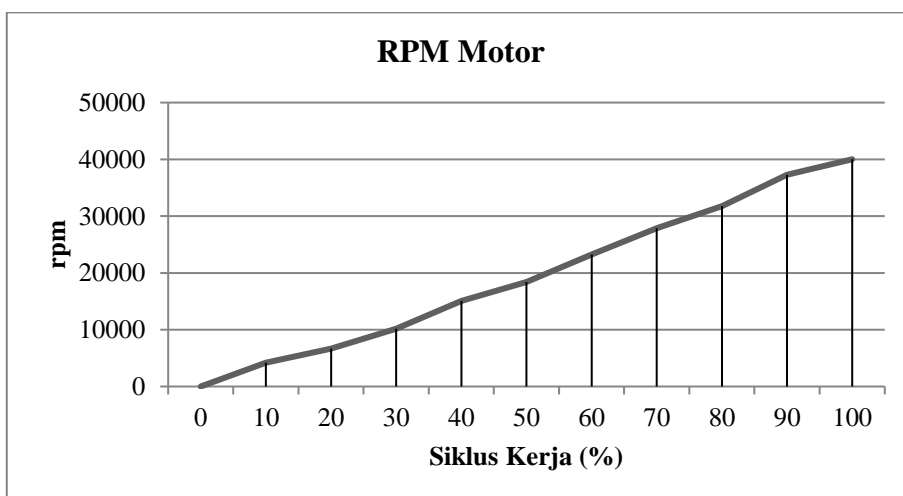
Maka perhitungan sampel yang lainnya dapat dilihat dari tabel berikut ini:

Tabel 1. Pengujian siklus kerja sistem kendali kecepatan BLDC Motor

Siklus Kerja (%)	Vin (V)	Arus (A) Tunggal	Arus (A) Multi	Daya (watt) Tunggal	Daya (watt) Multi	Vmotor (V)	Kecepatan (rpm)
0	10,6	0,23	0,23	2,44	2,44	0	0
10	10,6	0,36	0,57	3,82	6,04	1,06	4220
20	10,6	0,45	0,81	4,77	8,59	2,12	6673
30	10,6	0,58	0,9	6,15	9,54	3,18	10177
40	10,6	0,78	1,56	8,27	16,54	4,24	15080
50	10,6	0,99	1,84	10,49	19,50	5,3	18409
60	10,6	1,3	2,1	13,78	22,26	6,36	23260
70	10,6	1,71	2,95	18,13	31,27	7,42	27884
80	10,6	2,05	3,81	21,73	40,39	8,48	31744
90	10,6	2,55	4,25	27,03	45,05	9,54	37283
100	10,6	2,72	5,1	28,83	54,06	10,6	40017



Grafik 1. Pengaruh siklus kerja terhadap tegangan masuk mesin



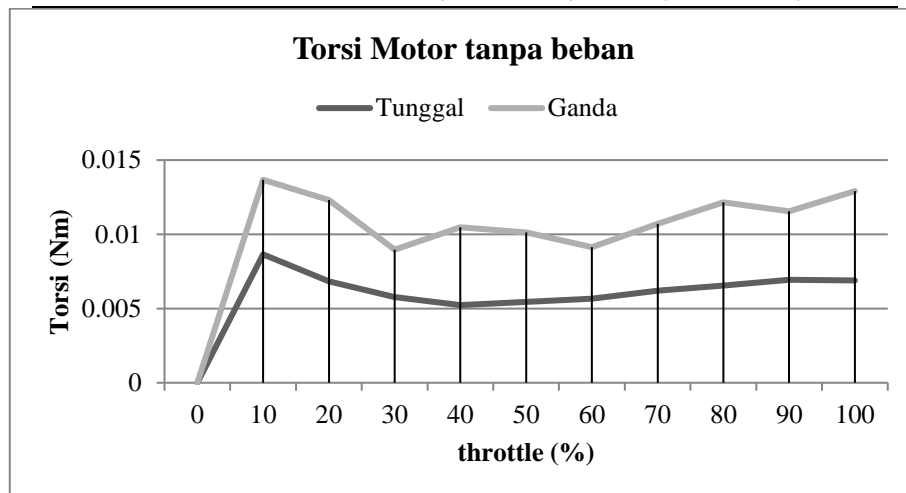
Grafik 2. Pengaruh siklus kerja terhadap rpm mesin

### 3.3 Pengujian mesin tanpa beban

Teknik pengujian yang akan dilakukan adalah dengan memacu motor dengan kecepatan-kecepatan tertentu dalam waktu 5 detik tiap sampel tanpa menggunakan beban atau dalam arti lain mesin tidak dihubungkan dengan pembebanan. Pengambilan sampel berdasarkan kecepatan putar mesin.

Tabel 2. Data pengujian mesin tanpa beban

Throttle (%)	Kecepatan Mesin (rpm)	Daya (watt) Tunggal	Daya (watt) Multi	Torsi (Nm) Tunggal	Torsi (Nm) Multi
10	4220	3,82	6,04	0,00865	0,01367
20	6673	4,77	8,59	0,00683	0,0123
30	10177	6,15	9,54	0,00577	0,00896
40	15080	8,27	16,54	0,00524	0,01048
50	18409	10,49	19,5	0,00544	0,01012
60	23260	13,78	22,26	0,00566	0,00914
70	27884	18,13	31,27	0,00621	0,01071
80	31744	21,73	40,39	0,00654	0,01216
90	37283	27,03	45,05	0,00693	0,01154
100	40017	28,83	54,06	0,00688	0,01291



Grafik 3. Perbandingan nilai torsi *BLDC Motor* tunggal dengan ganda

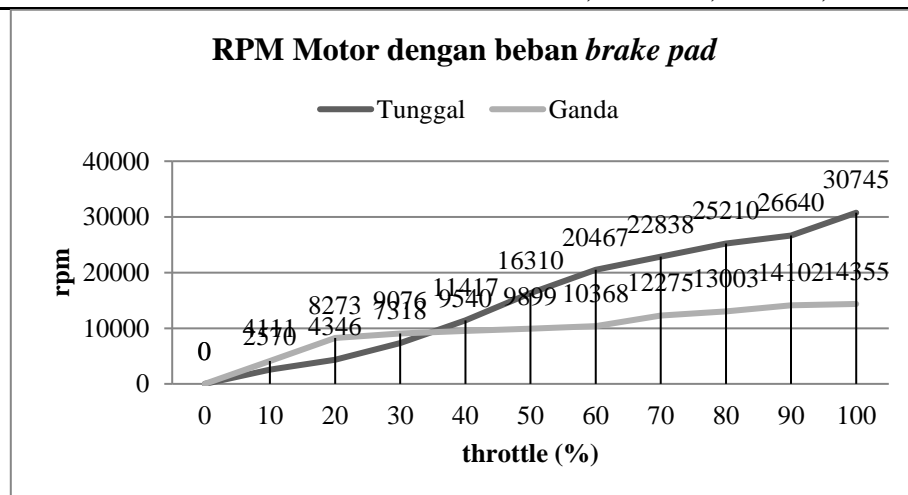
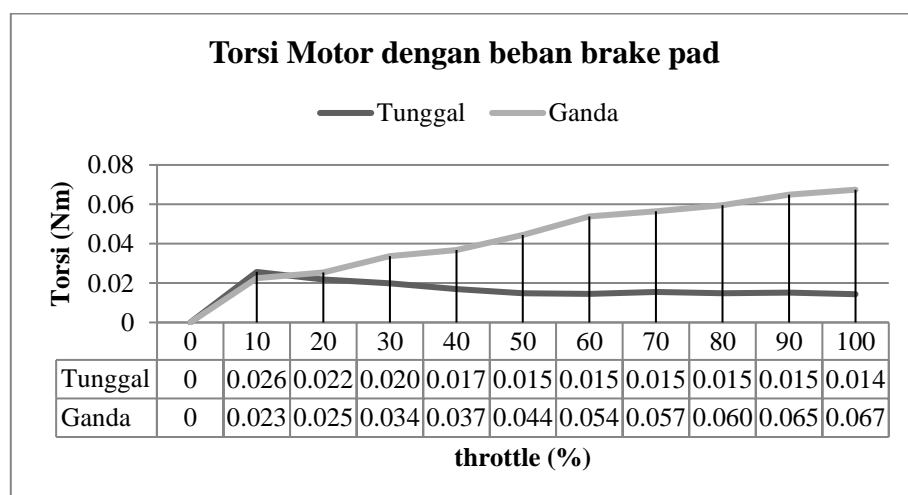
### 3.4 Pengujian mesin dengan beban

#### 3.4.1 Pembebanan Brake Pad

Metode pembebanan rangkaian mesin adalah dengan memberikan kampas rem (break pad) pada flange coupling sebagai penghambat putaran dari rangkaian mesin. Pembebanan untuk mesin tunggal dan multi disamakan untuk dapat mengetahui seberapa besar peningkatan torsi.

Tabel 3. Data pengujian mesin dengan beban *brake pad*

Throttle (%)	Kecepatan Mesin Tunggal (rpm)	Kecepatan Mesin Ganda (rpm)	Daya (watt) Tunggal	Daya (watt) Ganda	Torsi (Nm) Tunggal	Torsi (Nm) Ganda
10	2570	4111	6,9	9,7	0,026	0,023
20	4346	8273	9,9	22	0,022	0,025
30	7318	9076	15,2	32	0,020	0,034
40	11417	9540	20,3	36,7	0,017	0,037
50	16310	9899	25,3	46,1	0,015	0,044
60	20467	10368	31,1	58,5	0,015	0,054
70	22838	12275	36,9	72,6	0,015	0,057
80	25210	13003	39,3	81,1	0,015	0,060
90	26640	14102	42,4	95,9	0,015	0,065
100	30745	14355	46,4	101,3	0,014	0,067

Grafik 4. Nilai rpm pada mesin BLDC dengan beban *brake pad*Grafik 5. Nilai torsi pada mesin BLDC dengan beban *brake pad*

Pembebanan menggunakan kampas rem atau *brake pad* dengan nilai tidak terdefinisi dengan kekuatan sama antara pengujian satu motor dan dua motor

menghasilkan grafik di atas. Untuk mesin dengan motor ganda mampu memutar poros hingga 14.355 rpm sedangkan mesin dengan motor tunggal mampu memutar poros hingga kecepatan 30.745 rpm pada putaran gas (*throttle*) penuh.

### 3.4.2 Pembebanan Aluminium

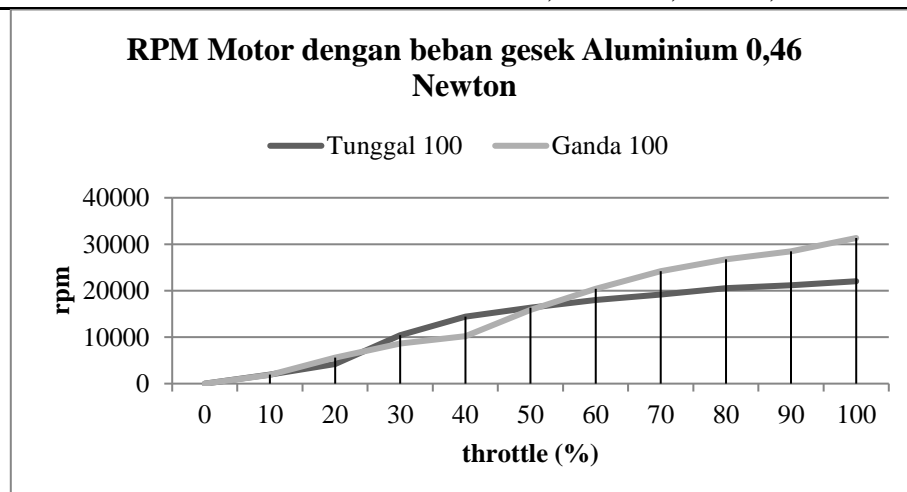
Metode pembebanan rangkaian mesin dengan memberikan logam aluminium di atas *flange coping* sehingga akan menimbulkan beban berupa gesekan. Rumusan yang digunakan untuk menghitung nilai gaya yang bekerja sebagai berikut (Sosilo, 2016):

$$F = \frac{\tau}{2 \times \mu k \times r} \quad \text{(ii)} \quad \begin{aligned} \tau &= \text{Torsi rata-rata tiap pengujian (Nm)} \\ \mu k &= \text{Koefisien gesek alminium pada besi (0,47N)} \\ r &= \text{Jari-jari (0,025 m)} \end{aligned}$$

sehingga menghasilkan data-data yang disajikan dalam sebuah tabel di bawah ini:

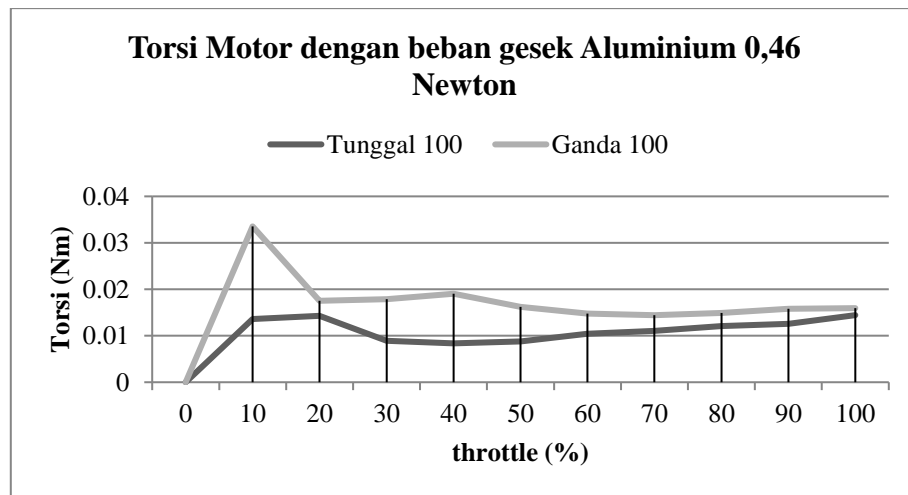
Tabel 4. Data pengujian mesin dengan beban gesek aluminium 0,46 Newton

Throttle (%)	Kecepatan Mesin Tunggal (rpm)	Kecepatan Mesin Ganda (rpm)	Daya (watt) Tunggal	Daya (watt) Ganda	Torsi (Nm) Tunggal	Torsi (Nm) Ganda
10	1963	1880	2,8	6,6	0,01363	0,03354
20	4219	5618	6,3	10,3	0,01427	0,01752
30	10420	8600	9,7	16,1	0,00889	0,01789
40	14446	10180	12,7	20,3	0,0084	0,01905
50	16368	15862	15,1	26,9	0,00881	0,0162
60	17995	20409	19,6	31,6	0,01041	0,01479
70	19201	24185	22,2	36,5	0,01105	0,01442
80	20572	26723	26	41,8	0,01208	0,01494
90	21180	28451	27,9	47,1	0,01259	0,01582
100	22035	31337	33,3	52,3	0,01444	0,01595



Grafik 6. Nilai rpm pada mesin BLDC dengan beban gesek Aluminium 0,46 Newton



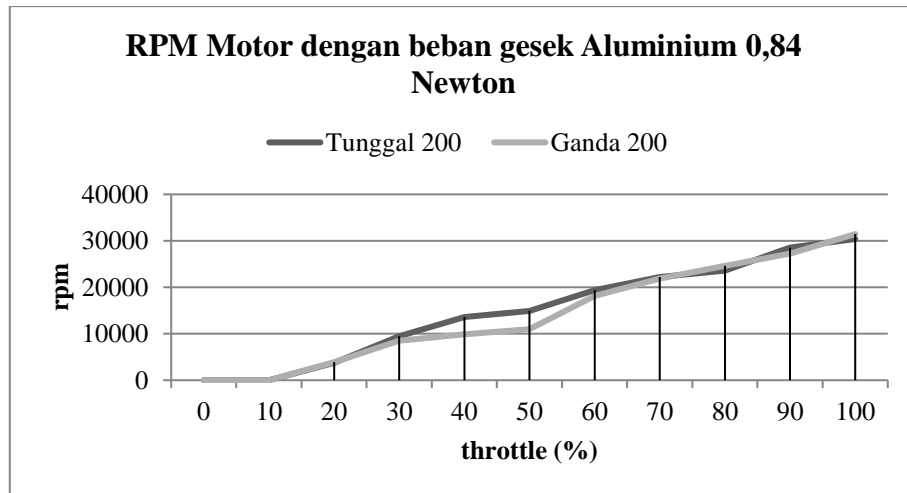


Grafik 7. Nilai torsi pada mesin BLDC dengan beban gesek Aluminium 0,46 Newton

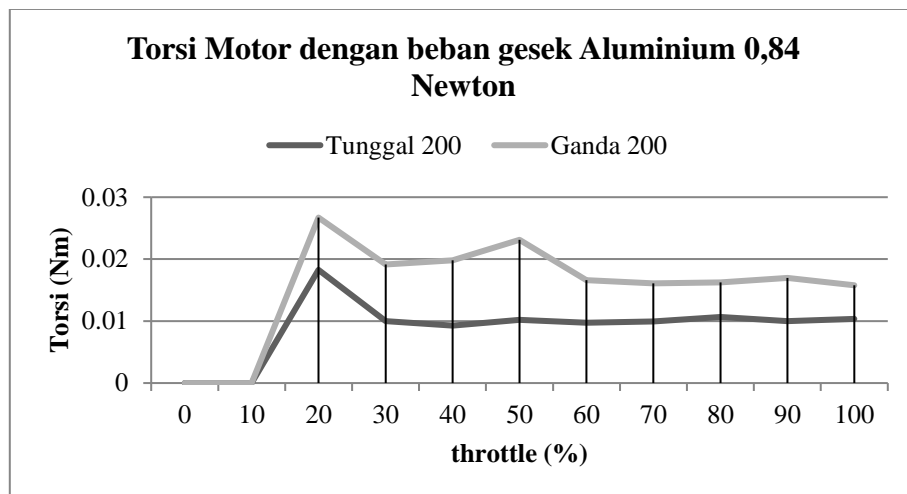
Untuk pembebanan aluminium 100 gram lebih tepatnya adalah penindihan flange coupling pada poros agar terjadi gesekan sebesar 0,46 Newton, dari proses gesekan tersebut akan menjadi sebuah hambatan. Hasil yang diperoleh dari pengujian ini dapat dilihat pada grafik 6 dan 7, rpm yang dihasilkan oleh mesin dengan motor ganda terlihat lebih tinggi dibandingkan mesin motor tunggal dengan rata-rata selisih sebesar 12,5%. Berlaku juga pada nilai torsi yang dihasilkan pada mesin dengan motor ganda bernilai lebih besar dibandingkan mesin dengan motor tunggal dengan rata-rata selisih sebesar 61,3%. Lonjakan torsi disebabkan oleh mesin mampu berputar dengan terhubung beban walau hanya dengan rpm yang rendah.

Tabel 5. Data pengujian mesin dengan beban gesek Aluminium 0,84 Newton

Throttle (%)	Kecepatan Mesin Tunggal (rpm)	Kecepatan Mesin Ganda (rpm)	Daya (watt) Tunggal	Daya (watt) Ganda	Torsi (Nm) Tunggal	Torsi (Nm) Ganda
10	0	0	4,8	5,5	0	0
20	3766	3863	7,2	10,8	0,01827	0,02671
30	9451	8537	9,9	17,1	0,01001	0,01914
40	13587	9881	13,2	20,5	0,00928	0,01982
50	14904	11001	15,9	26,6	0,01019	0,02310
60	19411	18156	19,8	31,6	0,00975	0,01663
70	22185	21865	23,1	36,8	0,00995	0,01608
80	23609	24614	26,4	41,8	0,01068	0,01623
90	28534	27254	29,8	48,4	0,00998	0,01697
100	30400	31462	33	51,9	0,01037	0,01576



Grafik 8. Nilai rpm pada mesin BLDC dengan beban gesek Aluminium 0,84 Newton



Grafik 9. Nilai torsi pada mesin BLDC dengan beban gesek Aluminium 0,84 Newton

Penambahan beban pada pengujian pembebanan penindihan aluminium dengan berat 200 gram atau setara dengan gaya gesek 0,84 Newton, mesin ini menghasilkan data-data yang disajikan pada tabel 5

### 3.5 Analisa torsi yang dibangkitkan oleh mesin dari beberapa keadaan

Hasil keluaran torsi dalam keadaan rangkaian mesin tanpa beban ditunjukkan pada tabel 2 dan hasil keluaran torsi dalam keadaan rangkaian mesin dengan beban dapat dilihat pada tabel 3. Nilai torsi dari kedua tabel tersebut didapatkan melalui rumus perhitungan torsi sebagai berikut:

$$\tau = \frac{60 \times P}{2 \times \pi \times n} \quad \text{(iii)} \quad \begin{array}{ll} \tau & : \text{Torsi (Nm)} \\ P & : \text{Daya (watt)} \\ n & : \text{Kecepatan putar (rpm)} \end{array}$$

Perbandingan torsi dapat dilihat dari grafik-grafik yang ada, grafik 3 menunjukkan nilai torsi ketika rangkaian mesin tidak diberikan beban maka dapat dilihat

bahwa menghasilkan gelombang yang relatif lurus dan nilai perubahan torsinya pun kecil. Rangkaian dengan mesin tunggal menghasilkan grafik torsi awalan pada rpm rendah yang tinggi dan seterusnya menurun pada rpm tinggi. Untuk rangkaian mesin Multi BLDC, nilai torsi meningkat di putaran rendah kemudian bernilai hampir sama di putaran tinggi dengan bentuk grafik yang hampir sama dengan yang bermesin tunggal. Hubungan antara daya masukan dan keluaran mekanika dapat diasumsikan jika daya masukan besar, maka daya keluaran juga besar, dapat dilihat dari tabel-tabel pengujian, ketika daya yang masuk pada mesin besar, maka disitu terdapat daya keluaran yang besar juga, sangat terlihat jelas pada peningkatan nilai rpm pada setiap pengujian dan pembebanan.

#### 4. PENUTUP

Ditinjau dari analisa hasil percobaan, BLDC motor yang dirangkai paralel dengan motor sejenisnya yang memiliki spesifikasi sama akan didapatkan beberapa kemungkinan sekaligus kesimpulan antara lain penggunaan dua motor menghasilkan daya keluaran yang lebih tinggi dibandingkan dengan menggunakan satu motor, penggunaan dua motor menghasilkan daya keluaran yang lebih tinggi dibandingkan dengan menggunakan satu motor. Kecepatan motor BLDC berbanding lurus dengan tegangan listrik yang bekerja pada rangkaian. Kecepatan putar rangkaian dikendalikan oleh *throttle* dengan metode PWM. Pembebanan berpengaruh pada daya masukan pada mesin, semakin besar beban yang diterima maka semakin besar juga daya yang bekerja pada mesin. Dalam penelitian ini nilai torsi yang kami paparkan merupakan hasil dari perhitungan daya listrik yang diolah dengan rumus perhitungan torsi yang kami anggap sebagai torsi mesin. Pembebanan berpengaruh pada nilai torsi, semakin berat beban yang ditanggung oleh mesin maka semakin tinggi nilai torsi yang dikeluarkan. Hasil dari penelitian ini dapat digunakan untuk tinjauan pustaka pembuatan mobil listrik ajang KMLI (Kontes Mobil Hemat Energi) atau FSAE (Formula Society of Automotive Engineers) yang mengacu pada ajang balap mobil listrik. Penulis menyarankan agar rancang bangun purwa rupa ini diteruskan untuk dianalisa atau pun di-*scale up* menjadi mesin sungguhan yang siap untuk menggerakkan kendaraan listrik. Penulis juga menyarankan agar ketika dilakukan analisa untuk menggunakan alat *torquemeter* agar nilai output yang dikeluarkan oleh rangkaian mesin dapat didapat secara *realtime* dan lebih akurat.

## 5. PERSANTUNAN

Alhamdulillah segala puji bagi Allah Tuhan Semesta Alam yang telah memberi *mau'izaah* (pelajaran) dan tidak lupa kita lantunkan sholawat serta salam kepada nabi kita Muhammad Shallahu 'alaihi wa salam yang saat ini telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya dalam membantu pengerjaan tugas akhir ini melalui perantara yaitu kedua orang tua yang telah memberikan ridho dalam pengerjaan tugas akhir. Dosen pembimbing Bapak Dedi Ary Prasetya, S.T, M.Eng. Yang telah menerima dan membimbing tugas akhir ini. Teman-teman dan dedek yang telah *men-support* dan memberikan inspirasi dalam mengembangkan proyek ini. Laboraturium Teknik Elektro UMS yang telah memfasilitasi dan memberikan tempat untuk melakukan penelitian dan pengujian alat untuk tugas akhir.

## 6. DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, A. Khan, Z. Alam, M. and Khateeb, S. (2018). A Review of The Electric Vehicle Charging Techniques, Standards, Progression and Evolution of EV Technologies in German, Smart Science. Vol 6, No 1, pp 36-53.
- Akbar, D. Riyadi, S. (2018). Pengaturan Kecepatan Pada Motor Brushless DC (BLDC) Menggunakan PWM (Pulse Width Modulation). Bandung. Seminar Nasional Instrumentasi, Kontrol dan Otomasi (SNIKO) 2018.
- Andika, RJ. Rusdinar, A. Wibowo, AS. (2018). Perancangan dan Implementasi Driver Motor Tiga Fasa untuk Pengendali Kecepatan Motor BLDC Berbasis PWM Pada Mobil Listrik. 5 (2):48-54.
- Azizi, N and Moghaddam, R.K. (2013). Permanent magnet brushless DC motor optimal design and determination of optimum PID controller parameters for the purpose of speed control by using the TLBO optimization algorithm. American Journal of Research Communication, vol. 1, no. 1, pp. 294 -313.
- Kanginan, Marthen (2017). Fisika Untuk SMA/MAelas XI. Jakarta: Erlangga. hlm. 5-9. ISBN 9786022988205].
- Nurhadi., (2018). Pengembangan Sepeda Motor Listrik Sebagai Sarana Transportasi Ramah Lingkungan. ITN Malang. ISSN 2085-4281. 249-255.
- Serway, R. A. and Jewett, Jr. J.W. (2003). Physics for Scientists and Engineers. 6th Ed. Brooks Cole. ISBN 0-534-40842-7.
- Sosilo, E. (2016). *Pengaruh Variasi Gaya Tekan Pada Proses Kompaksi Kampas Rem Dengan Matriks Phenolic Resin. August.*